620.171.5 : 539.4.013

異物の応力集中への影響*

島田平八**, 辻一郎***

The Influence of the Inclusion on the Stress Concentration
in the Plate with Notches under Tension

by Heihachi SHIMADA and Ichiro TSUZI

The stresses in U-type notched bars with certain inclusions of different materials under tension were investigated photoelastically. The matrix of the model was made of epoxy resin and the inclusions of duralumin, epoxy resin, epoxy rubber, (epoxy polysulfide copolymer) were bonded together by adhesive medium and U-type notches were machined on both sides. The models were tested under tension with polariscope, and then the maximum stresses on the boundary of notches were observed and several interesting results were obtained conclusively.

1. はじめに

切欠きなどによる応力集中の研究は、これまでいろいろの形状についてなされてきたが、静的応力については、連続体についてのみ主として研究されてきたらしいがあった。しかし機械部品、構造物などに用いられる材料は均一材であるよりは、微視的に見れば不連続な物質の集合体であることが多い。そこで等方体や連続的な直交異方体として巨視的に応力集中をいくら論じて、不連続な実用材に適用できない場合が非常に多い。もちろん積算された形として表われる変形量には適用できるが、微視的に考える必要のある応力にはそのままでは適用できないのは当然と思われる。

著者の1人が合せ材の応力を光弾性実験で研究している間に、これまで均一体の場合常識になっていた切欠き底部に応力の集中することの存在しない場合のあることが確認されて(第1図参照)⁽¹⁾、形状だけで応力分布の決定される均一体の応力分布を、不連続な実用材へ適用することの不合理であることが判明した。しかしこれまでの実用材のひずみ測定法では1, 2の例外はあるが、測定のゲージ長さが結晶粒や介在物などに比べて大きいために、不均一な集合体のひずみの積算を測定しておくことになるので、見掛け上は均一体の理論計算値と静的ひずみ測定結果では一致しているように思われていた。しかし割れの発生等を考える場合には、当然実用材の不均一を考慮に入れなければならない。

らない程度の大いさが問題になるので、ゲージ長さを実用金属材料ではその結晶粒等より小さくしなければならぬが、適切な測定方法が見当たらない現状である。そこで不連続体の静的応力を系統的に研究する方法として、光弾性実験のモデル法を適用してみたものである。

モデル法を用いて考えられる不連続体の複雑な境界条件をすべて満足することは不可能で、しかもいまのところは二次元問題に限定されるが、光弾性塗膜法との併用によれば、相当程度解明できるものと考えられる。ここではいくらかでも取出した形で均一体の応力との差異を指摘しようとしたもので、円形異物のU形

第 1 図

第 2 図

* 昭和 38 年 4 月 2 日 第 40 期通常総会講演会において講演，
原稿受付 昭和 38 年 6 月 21 日。

** 正員，東北大学工学部(仙台市桜小路)。

*** 正員，平工業高等専門学校。

切欠きにおよぼす影響について調べたものである。

2. 実 験

試験片は第2図に示すもので、図中の母材は KT-102 (理研計器製)で斜線部はそれぞれジュラルミン、エポキシゴムなどのそう入物を示し、詳細の寸法は第1表に示してある。表中そう入物が母材としてあるものは円孔のない場合、そう入物なしは円孔のこと、ER-1 はエポキシゴムの 1, ER-2 はエポキシゴムの 2 を表わし、それぞれ Araldite D, Thiokol, 硬化剤の混合化が重量比で (100:100:8), (100:30:8) のものを示している。弾性率は ER-1 は 10 kg/mm² で ER-2 は約 100 kg/mm² である。

両側より U 形切欠きを数段階実験をやりながら深く入れていった。切欠きはカッターで加工した。接着近傍にわずかに初応力の見られたとき、引張荷重と圧縮荷重を加えた場合をそれぞれ実験して補正したものと、初応力のみ測定して補正したものと値はほぼ一致した。

円形異物がジュラルミンで両側に U 形切欠きのある場合の引張荷重による明視野の等色線図を示したのが第3図群であり、切欠き深さ d が 3, 6, 9 mm のものをそれぞれ示している。図中の数字はしま次数を示している。第4図群は円形異物が ER-1 で両側に U 形切欠きのある場合の引張荷重による明視野の等色線図で、第5図群は円形異物が ER-2 の場合、第6図群は円形異物がない場合つまり、円孔に両側 U 形切欠きの場合、第7図群は円形異物が母材と同じ場合、つまり円孔なしで両側に U 形切欠きの場合⁽²⁾の引張荷重の明視野の等色線図をそれぞれ示している。

3. 実 験 結 果

3.1 円形異物材質の切欠き応力集中におよぼす関係
切欠き周上の最大応力値 σ_m を図示したのが第

8~10 図である。横軸に $\lambda=d/b$ をとり縦軸に $\sigma_m/(P/2bh)$ をとってある。ここに σ_m は切欠き周上の最大応力値で、 P は作用引張荷重であり、それぞれ $r/b=0.40, 0.333, 0.20$ について図示している。図中の●印は円孔なし U 形切欠き、○印は円孔に U 形切欠き、×印、□印、△印はそれぞれ円形異物が ER-1, ER-2, ジュラルミンで U 形切欠きの場合の実験値を示している。---線は円形異物の大きさの位置を示してある。それらの図より、 σ_m/p の値は円形異物が円孔, ER-1, ER-2, 母材, ジュラルミンの順に大きくなっており、異物がジュラルミンのときは U 形切欠きの深さ d が大きくなると、最小断面積が減るにもかかわらず、 σ_m/p の値が減少する興味ある結果がわかった。つまり母材よりかたい円形異物があると、U 形切欠きの周辺上の応力集中を減少させる働きのあることがわかった。ここに $p=P/2bh$ である。

第 1 表

試片番号	2r mm	2t mm	2b mm	そう入物	d mm	h mm
1	0	3	30	母 材	3, 6, 9, 12	6.01
2	6	3	30	ジュラルミン	3, 6, 9, 11	6.04
3	8	3	30	"	3, 6, 9, 10	6.03
4	6	3	30	"	3, 6, 9, 11	6.04
5	10	3	30	"	2, 5, 7, 9	6.07
6	12	3	30	"	2, 4, 6, 8	6.03
7	8	3	30	"	3, 6, 9, 10	6.04
8	12	3	30	"	2, 4, 6, 8	6.04
9	6	3	30	な し	3, 6, 9, 11	6.04
10	10	3	30	"	2, 5, 7	6.04
11	12	3	30	"	2, 4, 6, 8	6.04
12	0	3	30	母 材	3, 6, 9, 12	6.01
13	6	3	30	ER 1	3, 6, 9, 11	6.01
14	8	3	30	ER-1	3, 6, 9, 10	6.00
15	10	3	30	ER-1	2, 5, 7, 9	6.01
16	12	3	30	ER-1	2, 4, 6, 8	6.00
17	6	3	30	ER-2	3, 6, 9, 11	6.02
18	8	3	30	ER-2	3, 6, 9, 10	6.02
19	10	3	30	ER-2	2, 5, 7, 9	6.02
20	12	3	30	ER-2	2, 4, 6, 8	6.02

第3図 円形異物 (ジュラルミン) 接着, U 形切欠きの引張りによる等色線図 ($2r=6$)

第4図 円形異物 (ER-1) 接着, U形切欠きの引張りによる等色線図 ($2r=10$)

第5図 円形異物 (ER-2) 接着, U形切欠きの引張りによる等色線図 ($2r=12$)

第6図 円孔, U形切欠きの引張りによる等色線図 ($2r=6$)

第7図 U形切欠きの引張りによる等色線図 (異物は母材, $2r=0$)

第 8 図

第 9 図

第 10 図

第 11 図

第 12 図

第 13 図

第 14 図

3.2 円形異物の大いさの切欠き応力集中におよぼ

す影響 同一材質の円形異物の大いさが切欠き周辺上の最大応力 σ_m にどのような影響をおよぼすかを示したものが第 11~14 図で、それぞれ円形異物がジュラルミン, ER-2, ER-1, 円孔の場合を図示している. 図の横軸は切欠き深さ $\lambda=d/b$ をとり, 縦軸は応力集中率 $\sigma_m/(P/2b'h)$ を表わしている. P は作用引張荷重を示し, $2b'h$ は最小断面積を示している. 図中の鎖線は $c=b-(d-r)$ の値が一定の応力集中率を結んだ線で, 第 11 図より異物が母材よりかたい場合には, 異物と切欠き底部の距離 c が等しいと $\sigma_m/(P/2b'h)$ の値はほぼ等しい値になる. つまり主として c のみに左右されるように見え, 異物の大いさには影響されないことがわかる. 第 12~14 図より, 異物が母材よりやわらかい場合には異物と切欠き底部の距離 c が近くなるほど $\sigma_m/(P/2b'h)$ の値が大きくなり, 異物の径が大きくなるほど大きくなり, 異物がよりやわらかくなるほどその値が大きくなることが読取れる.

4. お わ り に

円形異物を有する帯板の両側に U 形切欠きを持つ場合の引張りについて, 円形異物が母材よりかたい場合, 同じ場合, やわらかい場合の各種について光弾性実験を行ない, そのおのおのの切欠き底部の最大応力値を求め, 円形異物の材質による影響および大いさによる影響を明らかにし, 不均一材の応力集中への一知見を得ることができた.

おわりにごべんたつご助言をいただいた岩手大学 樋口盛一学長, 東北大学 玉手 統教授, ならびに本研究に多大のご協力を願った板垣和夫技官に対し厚くお礼を申し上げます.

文 献

- (1) H. Shimada, *Technol. Rep. of Tohoku Univ.*, 25 (1960), 13.
- (2) 大橋, 機械学会論文集, 24-147 (昭 33-11), 798.

539.377.096 : 621.785.545.45

円板外周の高周波焼入れによって生ずるひずみ*

武 田 信 男**, 高 橋 勘 次 郎***

Distortion of the Disc at Its Periphery Caused by Induction Hardening

by Nobuo TAKEDA and Kanjiro TAKAHASHI

Previously, one of the authors reported on the theoretical consideration of the mechanism of thermal distortion appeared on the disc due to induction hardening and predicted the tendency how the distortion would be occur under different quenching conditions.

In the present investigation, measurements of distortions caused by quenching transformation as well as by the thermal change under several induction hardening conditions have been performed. Thus, the effect of the quenching conditions and the size of the disc on the distortions have been made clear and the result of the consideration stated in the previous paper has been verified by the experiment.

1. ま え が き

円板外周に高周波焼入れをほどこした際の内・外径および厚さの変化に関して, 三谷ら^{(1)~(3)}, はリング状試験片の変形を測定して, 熱浴焼入れおよび中断焼

入れがひずみ軽減に有効であることを示し, 石田ら⁽⁴⁾は, リング状炭素鋼試験片に一発高周波焼入れおよび予熱後高周波焼入れを行なった際の硬化深さとひずみとの関係を測定している. ただし, これらはいずれも外径 30 mm 程度の小試験片についてのものであって, 寸法の影響にふれていない. また周知のように, 焼入ひずみは熱ひずみに変態ひずみ(主として A_r'' 変態による)が重畳したものであるが, これらのひずみ

* 昭和 38 年 4 月 2 日 第 40 期通常総会講演会において講演, 原稿受付 昭和 38 年 8 月 30 日.

** 正員, 東北大学工学部(仙台市片平丁).

*** 日本電子会社.